

UDC 663.2(477)

DOI: 10.58407/bht.1.26.16



Copyright (c) 2026 Oleksandr Vasylyk, Eduard Gorodetsky

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олександр Василик, Едуард Городецький
ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДУБОВИХ МАТЕРІАЛІВ
І КОНТРОЛЬОВАНОЇ МІКРООКСИГЕНАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИТРИМКИ
УКРАЇНСЬКИХ ЧЕРВОНИХ ВИН



Oleksandr Vasylyk, Eduard Gorodetsky

USE OF ALTERNATIVE OAK MATERIALS AND
CONTROLLED MICROOXIGENATION IN THE AGEING TECHNOLOGY
OF UKRAINIAN RED WINES

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Вивчити вплив дубових препаратів у різних формі (Танін NA-MT, BLEND AO/FO 75, натурна деревина) у поєднанні з мікрооксигенацією, на кінетику показників червоних вин протягом 12 місяців, удосконалити технологію та оцінити зміни фізико-хімічних показників.

Методологія. В якості дослідних зразків вивчалися молоді червоні вина з винограду сортів Каберне Совіньйон, Мерло та Одеський чорний, вироблені в південній частині Одеської області, без додаткової стабілізації. Варіанти досліді різнилися використанням дубових препаратів у різних формі: сухий Танін NA-MT, рідкий препарат BLEND AO/FO 75 та дубові чіпси. У якості контролю використовувалась витримка вина у дубовій бочці об'ємом 225 л. При експериментах були використані методи аналізу: спектрофотометрія у системі CIELab згідно методики OIV-MA-AS2-11, визначення фенольних речовин методом Folin-Ciocalteu, барвних речовин – колориметричним методом. Обробка проводилась з використанням методів регресійного аналізу, описової статистики, кластерного аналізу.

Наукова новизна. Вивчено комплексний вплив екзогенних фенольних речовин деревини дубу у різних формі (сухий сублімат, рідкий екстракт, та натурна деревина) на динаміку зміни фенольних та барвних речовин, а також оптичних показників в українських червоних винах. Розроблена схема мікрооксигенації, з нелінійним додаванням кисню, адаптована до вмісту фенольних речовин українських вин, що моделює окисні процеси у дубовій бочці.

Висновки. У герметичних резервуарах розчинений кисень зменшувався експоненційно до мінімальних рівнів, обмежуючи окислення. У бочках кисень підтримувався на вищому рівні рівноваги через дифузію. Фенольні речовини мали тенденцію до зменшення в усіх варіантах, а барвні речовини – з найсильнішим ефектом для варіанту з Таніном NA-MT. У дослідних зразках спостерігалась зміна кольору: збільшення яскравості (L^*), зменшення червоного відтінку (a^*), посилення жовтого (b^*). Евклідові відстані показали подібність варіантів BLEND AO/FO 75 та дубових чіпсів до показників витримки у бочці.

Запропонована схема мікрооксигенації ефективно моделює витримку в бочці, пропонує економічні альтернативи для українського виноробства. Рекомендується індивідуальне коригування доз залежно від сорту та виду дубу. Напрямок подальших досліджень – зміна сенсорних профілів та стабільності показників протягом часу.

Ключові слова: витримка червоних вин, альтернативні дубові матеріали, мікрооксигенація, фенольні сполуки, барвні речовини, стабільність кольору, українські вина

ABSTRACT

Purpose of the work. To study the influence of oak preparations in various forms (tannin NA-MT, blend AO/FO 75, natural wood) in combination with micro-oxygenation on the kinetics of red wine indicators over 12 months, improve the technology, and evaluate changes.

Methodology. Young red wines from grape varieties Cabernet Sauvignon, Merlot, and Odeskyi Chornyi, produced in the southern part of the Odessa region, without additional stabilization. Oak preparations in various forms: dry tannin NA-MT, liquid preparation BLEND AO/FO 75, and oak chips. An oak barrel with a volume of 225 L was used as a control.

Measurements: spectrophotometry in the CIELab system according to the OIV-MA-AS2-11 method, determination of phenolic substances by the Folin-Ciocalteu method, coloring substances – by colorimetric method. Data processing: regression analysis, descriptive statistics, cluster analysis.

Scientific novelty. The comprehensive influence of exogenous phenolic substances from oak wood in various forms (dry sublimate, liquid extract, and natural wood) on the dynamics of changes in phenolic and coloring substances, as well as optical indicators in Ukrainian red wines, has been studied. A micro-oxygenation scheme with nonlinear oxygen addition, adapted to the phenolic content of Ukrainian wines, has been developed, which models oxidative processes in an oak barrel.

Conclusions. In hermetic tanks, dissolved oxygen decreased exponentially to minimal levels, limiting oxidation. In barrels, oxygen was maintained at a higher equilibrium level through diffusion. Phenolic substances tend to decrease in all variants, while coloring substances show the strongest effect for the variant with tannin NA-MT. Changes in color were observed in the experimental samples: increase in lightness (L^*), decrease in red tone (a^*), enhancement of yellow (b^*). Euclidean distances showed similarity between the BLEND AO/FO 75 and oak chips variants to the indicators of aging in a barrel.

The proposed micro-oxygenation scheme effectively models barrel aging, offering economical alternatives for Ukrainian winemaking. Individual dose adjustments are recommended depending on the variety and type of oak. Further research will focus on changes in sensory profiles and parameter stability over time.

Key words: red wine aging, alternative oak materials, micro-oxygenation, phenolic compounds, coloring substances, color stability, Ukrainian wines

Вступ

Витримка червоних вин у дубовій тарі, наприклад, бочках (бариках) є розповсюдженим технологічним прийомом, що, згідно з сучасними дослідженнями, сприяє стабілізації кольору, полімеризації фенольних сполук та формуванню органолептичного профілю завдяки екстракції та взаємодії компонентів деревини дубу та складових частин вина. В якості цих компонентів можуть виступати похідні лігніну, елаготанінів, лактонів та інші, які екстрагуються з дубу видів *Quercus petraea* або *Quercus alba*. При витримці в дубовій тарі також проходить поступове надходження кисню завдяки дифузії через клебку у кількості 0,5–5 мл O_2 /дм³/місяць залежно від ряду факторів таких, як об'єм тари, температура витримки, вік та вид дубу, вологість повітря та ін. Умови витримки в дубовій тарі вважаються оптимальними для розвитку якісних показників вина, однак, економічні фактори (наприклад, вартість барика $\approx$ 800–1200 €) та обмежена доступність дубової сировини стимулюють використання альтернативних дубових препаратів у вигляді чіпсів, кубиків, екстрактів та їх субліматів у поєднанні з герметичними резервуарами з нержавіючої сталі.

Дубові альтернативні препарати у різних формах набувають широкої популярності в сучасному виноробстві як економічна заміна традиційних бочок, що

дозволяє передавати ароматичні та поліфенольні компоненти дубу без необхідності великих інвестицій у бочки (Aleksovich & Tkachenko, 2024; Sánchez-Gómez et al., 2020; Schmidtke et al., 2011). Для більш повного створення умов, що моделюють витримку у дубових бочках, окрім процесів екстракції, необхідно забезпечити надходження певної кількості кисню, необхідної для проходження процесів формування вина. Це можна зробити за рахунок використання мікрооксигенації, що дозволяє імітувати окисні процеси за набагато нижчої собівартості (5–20 % від вартості технології у бариках) (Vasylyk & Gorodetsky, 2025).

Метод мікрооксигенації у виноробстві був запропонований Патріком Дюкурно (Patrick Ducournau) (Ducournau & Laplace, 1995) і в основному застосовувався для пом'якшення аstringентності у сортах винограду з високим фенольним потенціалом.

Компоненти деревини дубу у поєднанні з мікрооксигенацією, яка забезпечує контрольований потік кисню, сприяють полімеризації танінів, стабілізації антоціанінів та формуванню більш стійких кольорових пігментів, одночасно знижуючи ризик підвищеного окиснення та появи небажаних сенсорних нот (Canas et al., 2019; Del Alamo et al., 2010; Gómez-Plaza & Bautista-Ortín, 2019).

Під час використання мікрооксигенації вирішальне значення має точний контроль

рівня кисню, оскільки надлишок кисню може призвести до небажаних змін якості вина. Для проведення цього процесу потрібно спеціалізоване обладнання та контроль введення точних доз кисню, які забезпечують досягнення бажаних ефектів (Canas et al., 2019).

Ріберео-Гайон (Ribéreau-Gayon, 1931) було встановлено, що кількість надходження кисню у результаті дифузії через дубову клепку бочки становить 15-45 мг/дм³/рік. Цей діапазон показників досі широко згадується в багатьох літературних джерелах.

У подальших дослідженнях (del Alamo-Sanza & Nevares, 2014) показано, що потрапляння кисню до вина в умовах витримки в бочці є нелінійним явищем. Фактична середня швидкість оксигенації за рік (на рівні 11,62 мг/дм³/рік) була значно нижчою, ніж швидкість, що спостерігалася протягом перших тижнів випробувань. Окрім цього, було встановлено (Qiu et al., 2018), що нелінійність потрапляння кисню у вино може бути наслідком не лише зміни швидкості дифузії, а також за рахунок десорбції кисню з дубової деревини на першому етапі витримки у новій дубовій тарі.

Таким чином, зважаючи на зростаючу популярність технології альтернативного дозрівання вин у світі, цьому напрямку присвячена значна кількість наукових досліджень, результати яких постійно оновлюються та доповнюються. В умовах виноробної галузі України дані технологічні прийоми ще не набули широкого

використання та недостатньо вивчені. Отже, метою проведення дослідження було вивчення впливу альтернативних дубових препаратів у комбінації з прийомами мікрооксигенації на фізико-хімічні та якісні показники українських червоних вин з метою удосконалення технології їх виробництва. Для цього було поставлено завдання кількісно оцінити вплив альтернативних дубових препаратів у комбінації з мікрооксигенацією на кінетику фізико-хімічних, колориметричних та, у подальшому, сенсорних показників червоних вин у процесі витримки протягом 12 місяців.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводилося на молодому червоному вині з сортів Каберне Совиньон, Мерло та Одеський чорний. Виноматеріали отримані з винограду, вирощеного у південній частині Одеської області. Технологічна схема виробництва вина передбачала подрібнення винограду з відокремленням гребнів, додавання чистої культури дріжджів, алкогольне бродіння м'язги, пресування м'язги, доброджування виноматеріалів, декантацію з дріжджового осаду, проведення яблучно-молочного бродіння, та самоосвітлення виноматеріалів шляхом відстоювання. Для запобігання впливу інших факторів на результати експерименту додаткову технологічну обробку стабілізуючими речовинами не проводили. Початкові фізико-хімічні показники дослідних виноматеріалів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Фізико-хімічні показники дослідних виноматеріалів

Сорт винограду	Об'ємна частка етилового спирту, %	Масова концентрація					рН
		титрованих кислот, г/дм ³	цукру, г/дм ³	діоксиду сірки, мг/дм ³	фенольних речовин, мг/дм ³	барвних речовин, мг/дм ³	
Каберне Совиньон	13,2	5,6	2,7	130	3540	425	3,5
Мерло	13,4	5,5	2,8	135	3128	470	3,4
Одеський чорний	13,0	5,7	2,7	125	3186	540	3,3

У якості джерел компонентів деревини дубу були використані наступні препарати.

1. Сухий препарат Танін NA-MT (SARL New Alternative Oak, Франція), являє собою танін, отриманий методом вилучення з французького та європейського дубу *Quercus Robur* та *Quercus Petraea*, витриманого на відкритому повітрі не менше 24 місяців. Виробник рекомендує даний препарат для використання при виробництві білих, червоних і рожевих вин при ферментації та витримці, а також для різних інших видів спиртних напоїв. Форма препарату – сухий сублімований продукт.

2. Рідкий препарат дубу BLEND AO/FO 75 (SARL New Alternative Oak, Франція) - це елаговий танін, отриманий з французького, європейського та американського дубу (*Quercus Robur*, *Quercus Petraea* та *Quercus Alba*) шляхом екстрагування водним методом з деревини, витриманій на відкритому повітрі протягом щонайменше 18 місяців. Призначений для використання як з винами, так і з міцними напоями. Доступний у рідкому вигляді, масова концентрація поліфенольних речовин, у перерахунку на галову кислоту, складає 75 г/дм³.

3. Дубові чіпси (ТОВ «ВУД ІНТЕРНАЦІОНАЛ», Україна) – великі дубові тріски, обпалені за класичною технологією. Виготовляються з сировини вищого та першого сорту, яка пройшла атмосферну сушку протягом не менш ніж 24 місяці під відкритим небом. Вистояна сировина проходить процес додаткової сушки, після чого її подрібнюють та обпалюють. Даний продукт використовують при ферментації та витримці вина та інших алкогольних напоїв.

Дозування сухого препарату таніну NA-MT складало 0,25 г/дм³ що є середньою нормою, рекомендованою виробником. Рідкий препарат BLEND AO/FO 75 містить 75 г/дм³ (7,5 %) фенольних речовин та його еквівалентне дозування складало 3,3 мл/дм³. Дубові чіпси у натурному вигляді додавали у дозі 2 г/дм³.

Паралельно проводили досліди з витримкою тих самих вин у дубовій бочці ємністю 225 л другого заливу.

Визначення хроматичних характеристик та координати кольору у системі CIELab дослідних зразків визначали згідно методики OIV-MA-AS2-11 Determination of chromatic characteristics according to CIELab (OIV, 2006).

При проведенні фотоколориметричних досліджень був використаний спектрофотометр

EMC-11S-V з діапазоном вимірювання довжини хвиль 325-1000 нм зі спеціалізованим програмним забезпеченням EMCLAB-λ Lambda.

Визначення загального вмісту фенольних речовин у дослідних зразках проводили колориметричним методом з використанням реактиву Folin-Ciocalteu. Калібрування проводили відносно розчинів галової кислоти завідомо відомої концентрації.

Загальний вміст барвних речовин у дослідних зразках визначали колориметричним методом. Калібрування проводили відносно розчинів мальвідину-3-глікозиду завідомо відомої концентрації.

Результати дослідження та обговорення

На першому етапі досліджень вивчали динаміку концентрації розчиненого кисню у червоних винах з дослідних сортів Каберне Совіньйон, Мерло та Одеський чорний, що витримувалися в герметичній тарі без доступу зовнішнього кисню (склі). Дані одержано шляхом вимірювання концентрації кисню (мг/дм³) на різних етапах витримки: від 0 до 12 місяців. Вимірювання проводилися в точках: 0; 0,25; 0,5; 1; 3; 6; 9 та 12 місяців.

З даних, наведених на рис. 1, спостерігається загальна тенденція до зменшення концентрації кисню з часом для всіх сортів. Початкова концентрація на рівні 2,4–2,5 мг/дм³ швидко знижується протягом перших 0,25–1 місяця (до 0,3–0,4 мг/дм³), після чого стабілізується на рівні близько 0,1 мг/дм³ з 9 місяця витримки. Характер спаду — експоненційний, що узгоджується з кінетикою першого порядку, де швидкість зменшення пропорційна концентрації O₂, що є типовим для окиснення фенольних сполук у винах. Різниця між сортами мінімальні: Мерло демонструє дещо повільніше початкове зниження порівняно з Каберне Совіньйон, тоді як Одеський чорний займає проміжне положення. Ці зміни можуть бути пов'язані з особливостями хімічного складу та різними концентраціями основних компонентів, зокрема фенольних сполук.

Таким чином, у герметичній тарі кисень, присутній у вині на початковому етапі, повністю споживається протягом короткого періоду витримки, що обмежує подальші окисні процеси.

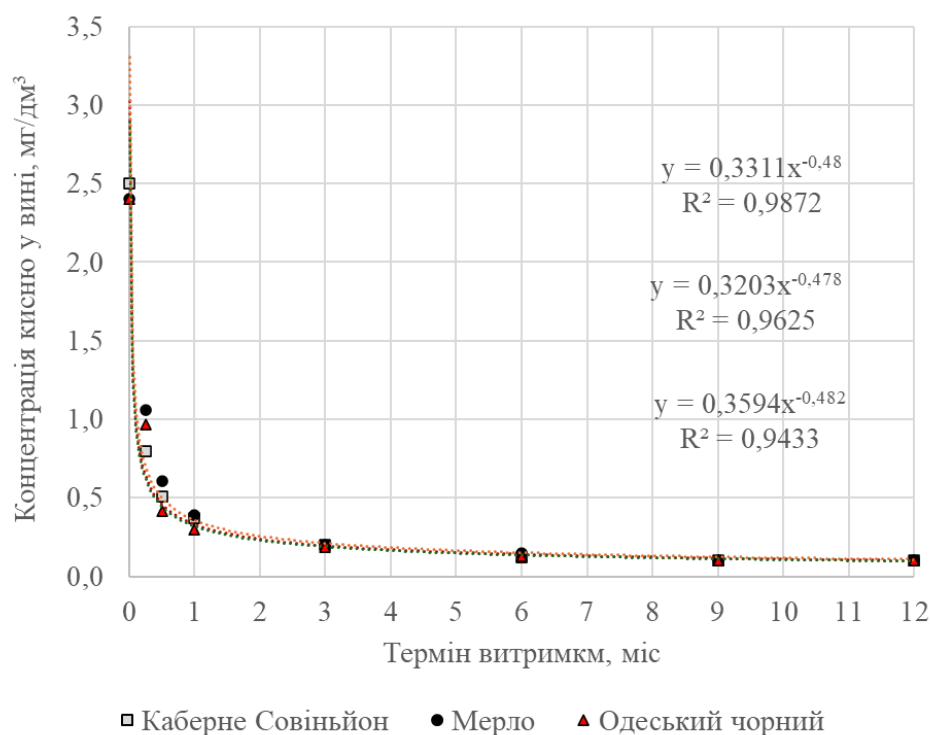


Рис.1. Динаміка зміни концентрації кисню у дослідних виноматеріалах при витримці у герметичній тарі

Одночасно з дослідженнями, які проводились у герметичній тарі, було вивчено зміну концентрації кисню у червоному вині з сорту Одеський чорний, що

знаходився у дубовій тарі – бочці об'ємом 225 л, так само протягом 12 місяців в ідентичних умовах зовнішнього середовища (в одному приміщенні).

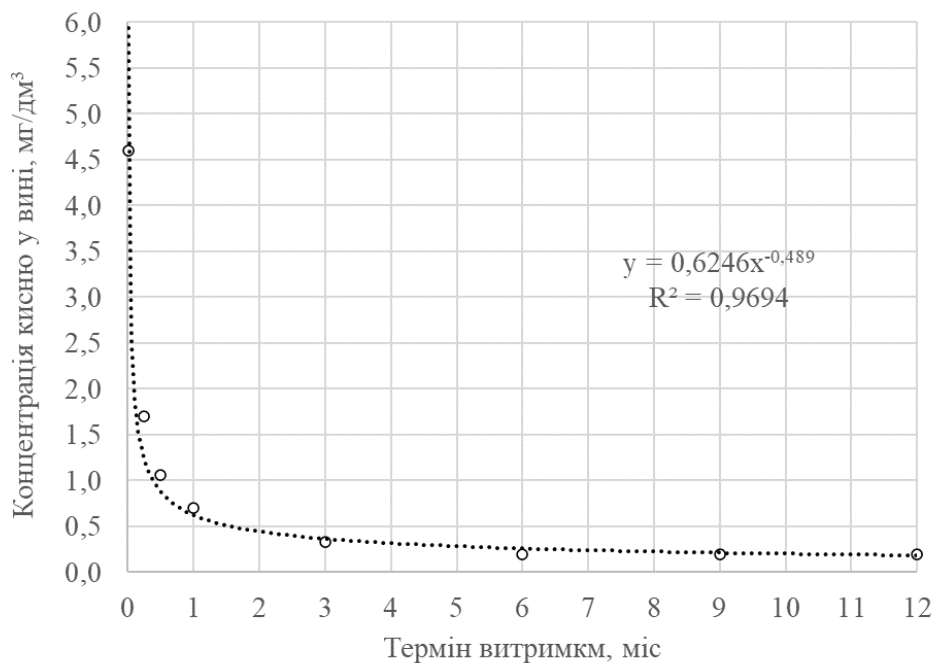


Рис. 2. Динаміка концентрації кисню у виноматеріалі з сорту Одеський чорний при витримці у дубовій бочці

З даних, наведених на рис. 2 видно, що початкова концентрація кисню у вині, що знаходиться у бочці дещо вища (4,62 мг/дм³ на початку витримки), ніж у герметичній тарі, що можна пояснити десорбцією та дифузією кисню через деревину дубу. Протягом перших 3 місяців спостерігається швидке зменшення концентрації кисню, але після цього процес сповільнюється, і кисень продовжує підтримуватися на низькому, але ненульовому рівні (0,1 мг/дм³). Динаміка зміни концентрації, так само як і у герметичній тарі, носить експоненційний характер, проте швидкість спаду концентрації носить більш повільний та пологий характер. Навіть після 12 місяців концентрація кисню залишається на рівні 0,22 мг/дм³, що вище порівняно з герметичною тарою.

Апроксимація виконана за моделлю степеневої функції:

$$C(t) = a * t^b \quad (1)$$

де $C(t)$ - концентрація розчиненого кисню (мг/дм³),

t - час,

a і b - параметри.

Степенева апроксимація відображає нелінійний розпад, де параметр $b < 0$ вказує на зменшення з уповільненням з часом. Лінії тренду показують подібні значення b (-0,478 до -0,489) для всіх варіантів, що вказує на спільну кінетику споживання кисню. Між тим, маємо невеликі відмінності: «а» більше в умовах витримки в бочці через більшу стартову концентрацію кисню, «b» – нижче у сорта Мерло, що вказує на дещо повільніше засвоювання кисню порівняно з іншими сортами.

Вочевидь, дубова тара завдяки дифузії кисню через деревину забезпечує тривалий, обмежений доступ кисню, що дозволяє протягом усього терміну витримки підтримувати повільні окисні процеси. Графік ілюструє не просто «витрачання» кисню, а скоріше динамічну рівновагу між постійним надходженням мікродоз кисню через дуб і його хімічним споживанням вином. Проте, слід зазначити, що незважаючи на постійну дифузію кисню через дубову деревину, у вині постійна масова концентрація кисню суттєво не збільшується, особливо у другій половині витримки. Це свідчить про те, що загальна швидкість надходження кисню за рахунок

дифузії через клепку менше, ніж швидкість поглинання кисню вином за рахунок проходження окисних процесів. Таким чином, для моделювання процесів окисигенації, які проходять у дубових бочках, необхідно забезпечити не лише надходження до вина певної кількості кисню, а й правильний розподіл його протягом часу дозрівання. Саме цей повільний, контрольований окисний процес є ключем до м'якості, складної ароматики та стабільності витриманих в дубових бочках вин. Також, з отриманих даних видно, що більша частина кисню до вина надходить у перші місяці.

Таким чином, однією з цілей дослідження було створення умов, що дозволять наблизити кисневий режим під час витримки у герметичній тарі до режиму витримки у дубових бочках. При цьому, одним з ключових моментів є режим дозування кисню протягом періоду витримки, тобто періодичність та дози кисню. Очевидно, що правильного режиму можна досягти, визначивши управління киснем залежно від хімічного складу вина, а також типу альтернативного дубового продукту (тріски, кубики та клепки тощо), та ботанічного виду дубу.

На сьогодні існують дві основні стратегії проведення мікрооксигенації: плаваюча доза кисню (із підтримкою заданого значення розчиненого кисню, наприклад 50 мкг/дм³) та фіксована доза додавання кисню (наприклад, дозування 3 мл/дм³/місяць) (Del Alamo et al., 2010; Sánchez-Gómez et al., 2018). Проте, конкретні параметри для кожного вина доцільно корегувати. Для вирішення цього завдання необхідно проведення додаткових досліджень з використанням специфічного обладнання, яке не завжди є у більшості виробників.

Результати споживання кисню червоними винами за різних стратегій мікрооксигенації та стружкою *Q. pyrenaica* показали, що споживається весь доступний кисень, і споживання залежало від обраної стратегії мікрооксигенації. Наприклад, вина з фіксованою дозою мікрооксигенації отримували від 3 до 3,5 разів більше кисню, ніж при використанні плаваючої дози (Sánchez-Gómez et al., 2018).

Оскільки, згідно сучасних наукових поглядів, фенольні речовини вина є одним з основних «споживачів» кисню, то була досліджена динаміка зміни масової концентрації фенольних речовин під час витримки за класичною технологією у дубовій діжці та при додаванні екзогенних фенольних речовин і витримкою у герметичній тарі.

З даних, наведених на рис. 3 можна спостерігати початкове зростання концентрації фенольних сполук. У випадку дубової бочки спостерігається поступове зростання, зумовлене екстракцією фенольних речовин з матеріалу бочки, тоді як в інших варіантах експерименту зростання є різким і зумовленим додаванням екзогенних фенольних сполук.

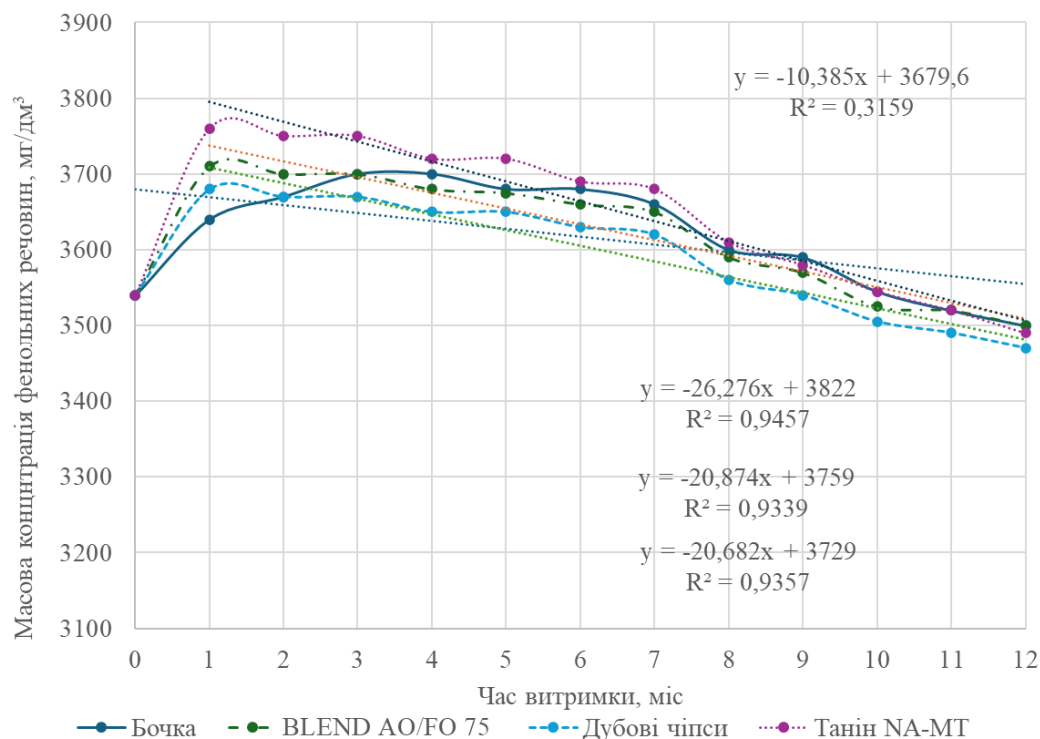


Рис. 3. Зміна загальної концентрації фенольних сполук у виноматеріалі сорту Каберне Совиньон під час витримки

Лінійна регресія з першого місяця показує негативну тенденцію для всіх варіантів з екзогенними фенольними речовинами (від -16 до -26 мг/дм³ на місяць), з високими значеннями R^2 (0,93-0,94). Проте, у випадку з дубовою бочкою спостерігається початкове накопичення у період 1-4 місяці, а потім динаміка стає подібною до інших варіантів дослідження – поступове зниження, пов'язане з процесами окислення, полімеризації та випадіння до осаду.

З урахуванням отриманих даних по динаміці фенольних речовин, на наш погляд, при мікрооксигенації найбільш раціональною схемою дозування кисню буде така, яка буде мати кореляцію з динамікою фенольних речовин, тобто забезпечить поглинання основної частини на початковому етапі і потім підтримування мінімальної кількості

розчиненого кисню для завершення процесів формування вина. При цьому, під час витримки можливе коригування кількості кисню залежно від фізико-хімічних та органолептичних показників конкретного вина.

Якщо порахувати загальну різницю у концентрації фенольних речовин на початку та наприкінці витримки, а потім порахувати, який відсоток займають показники у кожному місяці, то узагальнена картина за середніми показниками з усіх варіантів дослідження має вигляд, представлений на рис. 4.

Як видно, за перший місяць зменшення кількості фенольних речовин складає близько 14,1 %, за другий 13,4 %, за третій 13,4 %, за п'ятий 12,0 % і так далі, поступово зменшуючись до 0, а сума усіх відсотків за період відповідно складає 100 %.

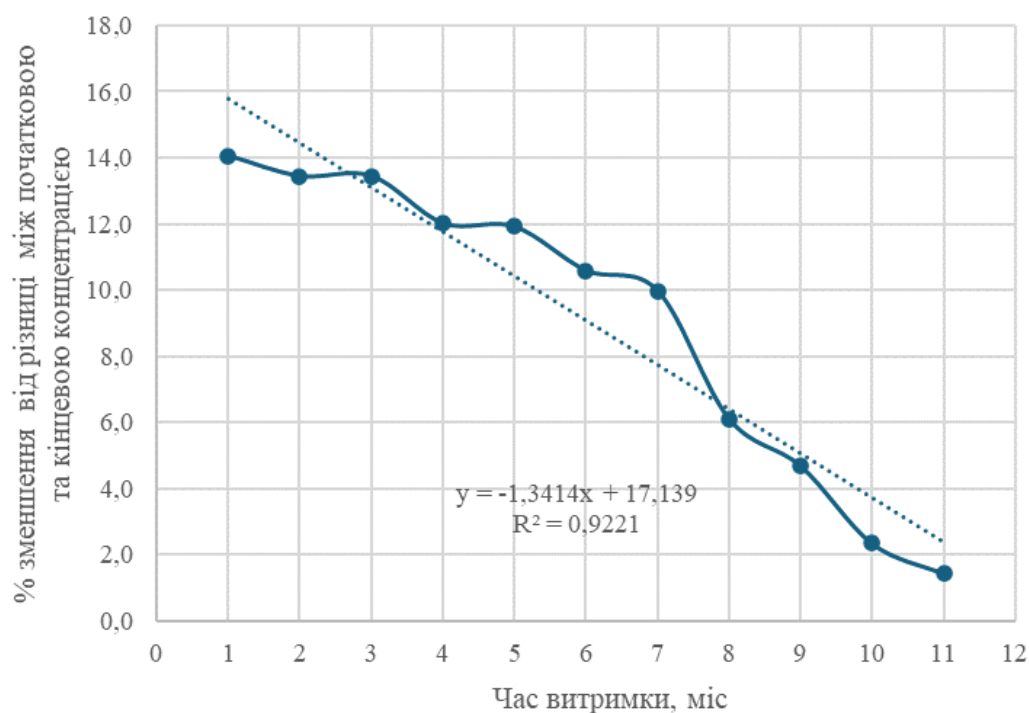


Рис. 4. Динаміка зміни масової концентрації фенольних речовин за кожний місяць витримки (% від загальної різниці на початку та в кінці витримки)

Саме у такому співвідношенні нами була поділена загальна доза кисню, яку використовували у наступному експерименті по витримці виноматеріалів з дубовою альтернативою та проведенням мікрооксигенації.

На підставі аналізу динаміки концентрації розчиненого кисню та фенольних сполук у герметичній тарі та дубових бочках, нами було проведено серію експериментів з метою оцінки впливу мікрооксигенації у комбінації з альтернативними дубовими препаратами на фізико-хімічні та колориметричні показники червоних вин.

Схема експерименту включала дозування препаратів дубу перед початком витримки у герметичній тарі. Загальна доза кисню – 30 мг/дм³ була розділена на 12 етапів у наступному співвідношенні:

- 1 місяць - 4,2 мг/дм³ або 14,1%,
- 2 місяць - 4,0 мг/дм³ або 13,4 %,
- 3 місяць - 4,0 мг/дм³ або 13,4 %,
- 4 місяць - 3,6 мг/дм³ або 12,0 %,
- 5 місяць - 3,6 мг/дм³ або 11,9 %,
- 6 місяць - 3,2 мг/дм³ або 10,6 %,
- 7 місяць - 3,0 мг/дм³ або 10 %,
- 8 місяць - 1,8 мг/дм³ або 6,1 %,
- 9 місяць - 1,4 мг/дм³ або 4,7 %,
- 10 місяць - 0,7 мг/дм³ або 2,3 %,

11 місяць - 0,4 мг/дм³ або 1,4 %.

Контрольна витримка проводилась у дубовій бочці, об'ємом 225 л.

Протягом проведення експерименту концентрація фенольних речовин у всіх варіантах демонструвала поступове зменшення протягом періоду витримки (рис. 5), що є характерним для процесів окислення, полімеризації та взаємодії з білками та полісахаридами вина. У варіанті з BLEND AO/FO 75 концентрація знизилася з 3330 мг/дм³ на 1-му місяці до 3218 мг/дм³ на 12-му (загальне зменшення на 3,36 %; середнє значення 3277,42 мг/дм³, стандартне відхилення 37,38 мг/дм³). Лінійна регресія показала нахил -10,71 мг/дм³ на місяць ($r = -0,989$, $R^2 = 0,978$, $p < 0,0001$), що вказує на високу лінійну залежність і статистичну значущість тенденції.

Для дубових чіпсів зменшення склало з 3300 мг/дм³ до 3227 мг/дм³ (2,21 %; середнє 3260,42 мг/дм³, стандартне відхилення 24,37 мг/дм³), з нахилом -7,01 мг/дм³ ($r = -0,993$, $R^2 = 0,986$, $p < 0,0001$).

Варіант з таніном NA-MT показав найвище зменшення – з 3370 мг/дм³ до 3193 мг/дм³ (5,25 %; середнє 3295,25 мг/дм³, стандартне відхилення 57,79 мг/дм³), нахил -16,53 мг/дм³ ($r = -0,987$, $R^2 = 0,974$, $p < 0,0001$).

У контрольному варіанті (бочка) – з 3240 мг/дм³ до 3200 мг/дм³ (1,23 %; середнє 3272,08 мг/дм³, стандартне відхилення 37,94 мг/дм³), нахил -6,52 мг/дм³ ($r = -0,593$, $R^2 = 0,352$, $p = 0,0420$), що є статистично значущим, але з нижчим ступенем лінійності

порівняно з іншими варіантами. Це є цілком логічно, оскільки на початковому етапі концентрація фенольних речовин збільшується за рахунок екстракції, тому закономірність зміни концентрації не має вираженої лінійної залежності.

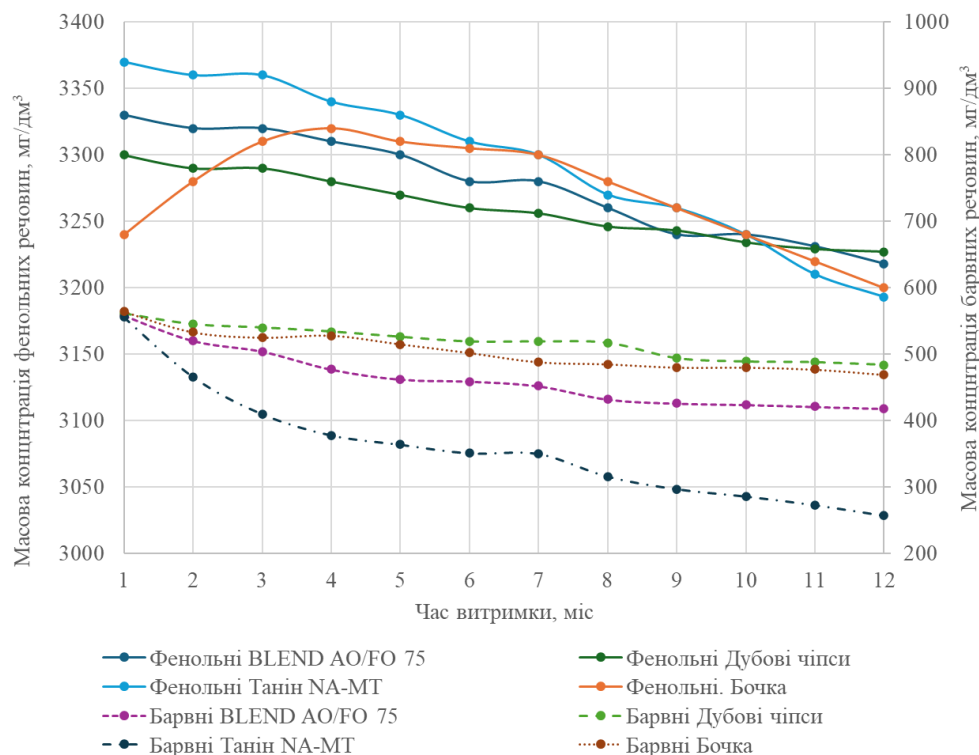


Рис. 5. Зміна масової концентрації фенольних речовин та барвних речовин під час витримки у дослідному виноматеріалі з сорту Одеський чорний

Концентрація барвних речовин (переважно антоціанів та їх похідних) також зменшувалася в усіх варіантах, але з вираженою варіабельністю швидкостей, що відображає різну інтенсивність процесів стабілізації кольору через окислення та ко-полімеризацію з таніном. У варіанті з BLEND AO/FO 75 – з 558 мг/дм³ до 418 мг/дм³ (зменшення на 25,09%; середнє 462,75 мг/дм³, стандартне відхилення 42,75 мг/дм³), нахил -11,69 мг/дм³ ($r = -0,944$, $R^2 = 0,891$, $p < 0,0001$). Для дубових чіпсів — з 561 мг/дм³ до 484 мг/дм³ (13,73 %; середнє 518,00 мг/дм³, стандартне відхилення 23,91 мг/дм³), нахил -6,80 мг/дм³ ($r = -0,982$, $R^2 = 0,964$, $p < 0,0001$). Варіант з таніном NA-MT продемонстрував найрізкіше падіння – з 556 мг/дм³ до 257 мг/дм³ (53,78 %; середнє 358,67 мг/дм³, стандартне відхилення 82,77 мг/дм³), нахил -22,53 мг/дм³ ($r = -0,940$, $R^2 = 0,884$, $p < 0,0001$), що може свідчити про інтенсивну деградацію антоціанів, ймовірно, через прискорену ко-полімеризацію з доданими таніном під контрольованою

оксигенацією, призводячи до осадження нестабільних пігментів.

У контрольному варіанті – з 564 мг/дм³ до 469 мг/дм³ (16,84 %; середнє 503,83 мг/дм³, стандартне відхилення 27,85 мг/дм³), нахил -7,72 мг/дм³ ($r = -0,957$, $R^2 = 0,916$, $p < 0,0001$). Висока варіабельність у варіанті з таніном NA-MT (найвище стандартне відхилення) вказує на потенційну нестабільність процесу, тоді як дубові чіпси забезпечували найменшу варіабельність.

Порівняльний аналіз показує, що варіанти з мікрооксигенацією (BLEND AO/FO 75, дубові чіпси, Танін NA-MT) мали вищі швидкості зменшення порівняно з контролем, з найвищими значеннями для таніну NA-MT, що може вказувати на його роль як каталізатора окислювальних реакцій.

По-різному також проходила зміна колориметричних показників дослідних виноматеріалів. Кольорові координати у системі CIE Lab, розраховані згідно з методикою OIV-MA-AS2-11, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Показники кольорових координат у системі CIELab дослідних виноматеріалів

Координати у системі CIELab	До витримки	Після витримки			
		BLEND AO/FO 75	Дубові чіпси	Танін NA-MT	Бочка
L*	2,17	2,28	2,30	2,26	2,35
a*	15,46	13,94	13,80	14,27	13,20
b*	3,75	4,20	4,30	4,25	4,35

У всіх варіантах спостерігалось збільшення L* (ΔL^* від 0,09 до 0,18), що вказує на освітлення вина, зменшення a* (Δa^* від -1,19 до -2,26), що свідчить про втрату червоного відтінку, та збільшення b* (Δb^* від 0,45 до 0,60), що відображає посилення жовтого компоненту. Ці зміни є типовими для процесів витримки червоних вин, пов'язаними з деградацією антоціанів, окисленням фенольних сполук та утворенням стабільних пігментів.

Для об'єктивного порівняння різниці зміни оптичних характеристик дослідних зразків, нами був використаний показник Евклідової відстані, вирахований у багатовимірному просторі на підставі одночасно трьох показників L*, a* та b*.

Отримана відстань між дослідними зразками наведена у таблиці 3, а результати кластеризації на підставі відстаней на рис. 6.

Найменша різниця у відстані (0,17) спостерігалась між варіантами з BLEND AO/FO 75 та дубовими чіпсами, далі BLEND AO/FO 75, що вказує на високу подібність змін кольору серед цих варіантів.

Зразок, витриманий у бочці, показав помірні відстані до дубових чіпсів (0,61) та BLEND AO/FO 75 (0,76), але більшу відстань до Таніну NA-MT (1,08). Порівняно з зразком до витримки, варіант з бочкою виявив найбільшу зміну кольору (2,35), за ним слідує дубові чіпси (1,75), BLEND AO/FO 75 (1,59) та Танін NA-MT (1,29).

Таблиця 3.

Матриця відстаней між зразками по результатам зміни оптичних характеристик

	До витримки	BLEND AO/FO 75	Дубові чіпси	Танін NA-MT	Бочка
До витримки	0,00				
BLEND AO/FO 75	1,59	0,00			
Дубові чіпси	1,75	0,17	0,00		
Танін NA-MT	1,29	0,33	0,47	0,00	
Бочка	2,35	0,76	0,61	1,08	0,00

З даних, наведених на рис. 6, видно що серед зразків існує чітке розділення «До витримки» та «Після витримки», що логічно через зменшення a* та збільшення L* і b* у всіх варіантах після витримки.

При цьому варіант досліду витримки у бочці виділяється окремо, оскільки має найбільше зменшення a* та збільшення L*.

Варіанти з препаратами BLEND AO/FO 75, дубовими чіпсами та Танін NA-MT

групуються разом, вказуючи на подібний вплив на колір (менші зміни порівняно з бочкою).

Отримані дані по відстаням показують, що такі препарати як BLEND AO/FO 75 та дубові чіпси краще наближають ефекти бочки, ніж сублімовані таніни, що вказує на необхідність використання змішаних або комбінованих протоколів у промисловому виноробстві.

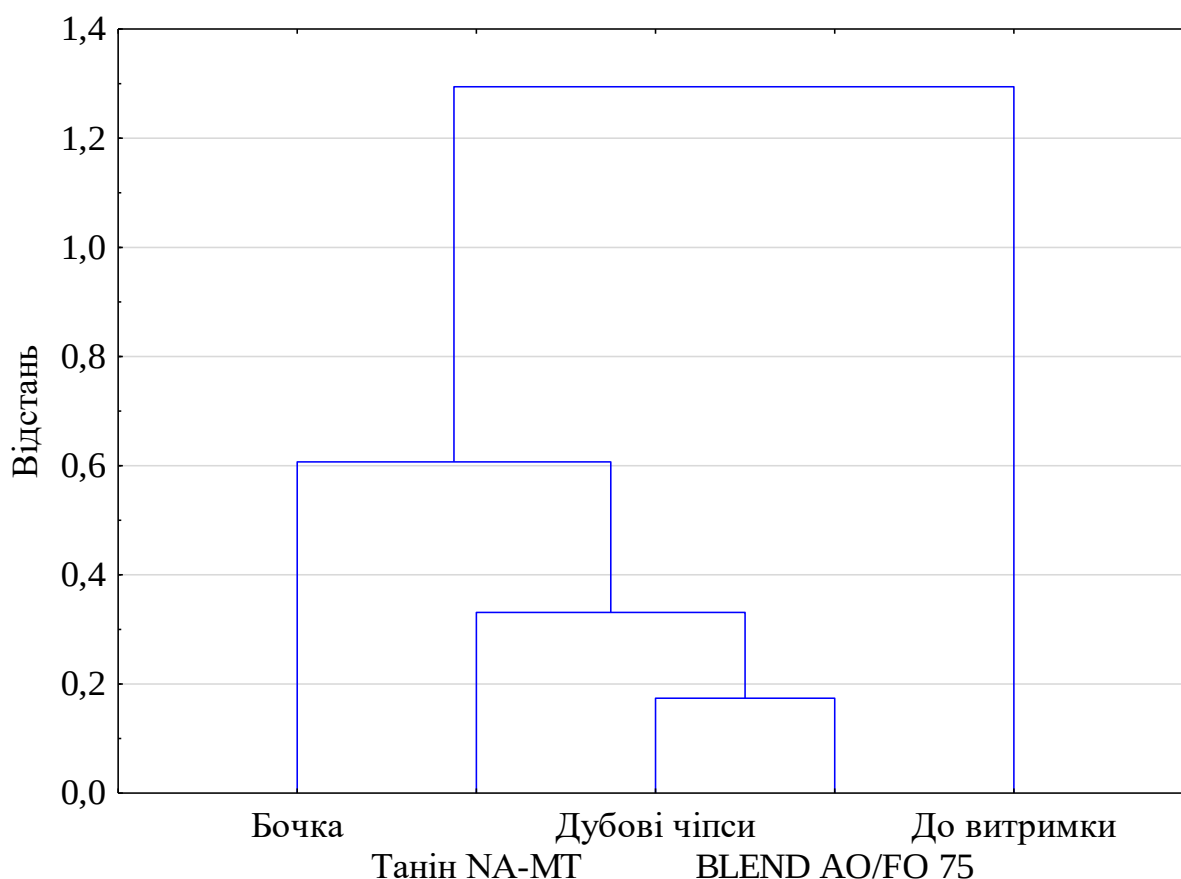


Рис. 6. Результати кластеризації дослідних зразків за оптичними характеристиками L^* , a^* , b^*

Висновки

На підставі проведених досліджень встановлено наступне.

1. Динаміка концентрації розчиненого кисню у герметичній тарі демонструє швидке експоненційне зменшення з початкових значень 2,4–2,5 мг/дм³ до стабільного рівня близько 0,1 мг/дм³ після 9 місяців, що обмежує подальші окисні процеси та стабілізацію вина. У дубовій бочці концентрація кисню підтримується на вищому рівні (до 0,22 мг/дм³ після 12 місяців) завдяки постійній дифузії через деревину, забезпечуючи динамічну рівновагу між надходженням і споживанням кисню, що узгоджується з літературними даними про нелінійність оксигенації.

2. Запропонована схема мікрооксигенації з загальною дозою кисню, розподіленою пропорційно динаміці зменшення фенольних сполук (від 14,1 % у першому місяці до 1,4 % в одинадцятому), ефективно моделює кисневий режим традиційної витримки в бочці. Це призводить до контрольованого зменшення

концентрації фенольних речовин на 1–5% у варіантах з альтернативними препаратами, подібно до контрольного варіанту у бочці, через процеси окиснення, полімеризації та осадження, з урахуванням початкового накопичення фенольних у бочці за рахунок екстракції.

3. Концентрація барвних речовин, зменшується на 14–54 % у всіх варіантах, з найбільшою інтенсивністю для варіанту з таніном NA-MT (до 53,78 %), що вказує на потенційні ризики надмірної деградації кольору через прискорену ко-полімеризацію, тоді як препарати BLEND AO/FO 75 та дубові чіпси забезпечують зміни, ближчі до ефектів бочки, з меншою варіабельністю.

4. Колориметричні показники у системі CIELab відображають типові зміни під час витримки: збільшення L^* (освітлення) на 0,09–0,18, зменшення a^* (втрата червоного відтінку) на 1,19–2,26 та збільшення b^* (посилення жовтого) на 0,45–0,60. Евклідові відстані у кольоровому просторі та кластерний аналіз підтверджують високу подібність

альтернативних варіантів з BLEND AO/FO 75 та дубових чіпсів до традиційної витримки в бочці, водночас з помітними варіаціями для препарату NA-MT, що свідчить про необхідність підбору препаратів залежно від бажаного ефекту на колір.

5. Альтернативні технології мікро-оксигенації з дубовими препаратами є економічно вигідною заміною традиційним дубовим бочкам для українського виноробства, де такі методи ще недостатньо поширені.

Рекомендується індивідуальне коригування доз кисню та типів препаратів залежно від сорту вина, фенольного потенціалу та ботанічного виду дубу для уникнення надмірного окиснення. Перспективні подальші дослідження, у напрямку оцінки сенсорних профілів дослідних вин, їх довгостроковій стабільності у порівнянні з іншими стратегіями мікрооксигенації, з метою оптимізації промислового застосування.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Aleksovych, V., & Tkachenko, O. (2024). Use of oak alternative products in vinification. *Food Science and Technology*, 18(1). <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2856>
- Canas, S., Caldeira, I., Anjos, O., & Belchior, A. P. (2019). Phenolic profile and colour acquired by the wine spirit in the beginning of ageing: Alternative technology using micro-oxygenation vs traditional technology. *LWT*, 111, 260–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.018>
- Del Alamo, M., Nevares, I., Gallego, L., Fernández de Simón, B., & Cadahía, E. (2010). Micro-oxygenation strategy depends on origin and size of oak chips or staves during accelerated red wine aging. *Analytica Chimica Acta*, 660(1–2), 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.11.044>
- del Alamo-Sanza, M., & Nevares, I. (2014). Recent Advances in the Evaluation of the Oxygen Transfer Rate in Oak Barrels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(35), 8892–8899. <https://doi.org/10.1021/jf502333d>

Ducournau, P., & Laplace, J.-L. (1995). Procédé de dosage et d'injection de gaz pour cuverie de vinification et installation à cet effet (Patent No. FR2709983A1). <https://patents.google.com/patent/FR2709983A1/en?q=+FR2709983>

Gómez-Plaza, E., & Bautista-Ortín, A. B. (2019). Emerging Technologies for Aging Wines: Use of Chips and Micro-Oxygenation (c. 149–162). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814399-5.00010-4>

OIV. (2006). OIV-MA-AS2-11 Determination of chromatic characteristics according to CIELab. <https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-a-methods-of-analysis-of-wines-and-musts/section-2-physical-analysis/chromatic-characteristics-%28type-i%29>

Qiu, Y., Lacampagne, S., Mirabel, M., Mietton-Peuchot, M., & Ghidossi, R. (2018). Oxygen desorption and oxygen transfer through oak staves and oak stave gaps: An innovative permeameter. *OENO One*, 52(1). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.1.909>

Ribéreau-Gayon, J. (1931). Contribution à l'étude des oxydations et réductions dans les vins. Impr. Gounouilhou.

Sánchez-Gómez, R., del Alamo-Sanza, M., Martínez-Gil, A. M., & Nevares, I. (2020). Red Wine Aging by Different Micro-Oxygenation Systems and Oak Wood—Effects on Anthocyanins, Copigmentation and Color Evolution. *Processes*, 8(10), 1250. <https://doi.org/10.3390/pr8101250>

Sánchez-Gómez, R., Nevares, I., Martínez-Gil, A. M., & Del Alamo-Sanza, M. (2018). Oxygen Consumption by Red Wines under Different Micro-Oxygenation Strategies and *Q. pyrenaica* Chips. Effects on Color and Phenolic Characteristics. *Beverages*, 4(3), 69. <https://doi.org/10.3390/beverages4030069>

Schmidtke, L., Clark, A., & Scollary, G. (2011). Micro-Oxygenation of red wine: Techniques, applications, and outcomes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), 115–131. <https://doi.org/10.1080/10408390903434548>

Vasylyk, O., & Gorodetsky, E. (2025). Current state and prospects of the use of alternative oak wood preparations in winemaking. *Human and nation's health*, 3(3), 15–33. [https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.15\(in Ukrainian\)](https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.15(in%20Ukrainian))

Василик, О. В., & Городецький, Е. Р. (2025). Сучасний стан та перспективи використання альтернативних препаратів деревини дубу у виноробстві. *Здоров'я людини і нації*, 3(3), 15–33. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.15>

Received: 14.01.2026. **Accepted:** 19.02.2026. **Published:** 06.04.2026.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Василик О., Городецький Е. Використання альтернативних дубових матеріалів і контрольованої мікрооксигенації в технології витримки українських червоних вин. *Biota. Human. Technology*. 2026. № 1. С. 182-195. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.1.26.16>

Cite this article in APA style as:

Vasylyk, O., & Horodetsky, E. (2026). Vykorystannia alternatyvnykh dubovykh materialiv i kontrolovanoi mikrooksyhenatsii v tekhnolohii vytrymky ukrainskykh chervonykh vyn [Use of alternative oak materials and controlled microoxygenation in the ageing technology of Ukrainian red wines]. *Biota. Human. Technology*, (1), P. 182-195. <https://doi.org/10.58407/bht.1.26.16> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Vasylyk O. [*in Ukrainian: Василик О.*] ¹, Assoc. Prof., Ph.D. in Tech. Sc., email: a.v.vasylyk@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0546-4141

Department of Wine Technology Structure and Sensory Analysis, Odesa National University of Technology
112, Kanatnaya Street, Odesa, 65039, Ukraine

Gorodetsky E. [*in Ukrainian: Городецький Е.*] ², PhD student, email: egorodetsky33@gmail.com

ORCID: 0009-0006-1467-0170

Department of Wine Technology Structure and Sensory Analysis, Odesa National University of Technology
112, Kanatnaya Street, Odesa, 65039, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation, statistical analysis.

² Data collection, study design, manuscript preparation, statistical analysis.